

УДК 677.053.74.001.5

**ПОГРЕШНОСТЬ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ СНОВАЛЬНОЙ ПАКОВКИ  
НА ОСНОВЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НАМАТЫВАНИЯ**

**THE ERROR OF THE ESTIMATION OF THE INTENSE-DEFORMED STATE  
OF WARPERS' PACKAGE ON THE BASIS  
OF KINEMATIC PARAMETERS OF WINDING**

*Н.А. КУЛИДА, Н.А. ДЕМИДОВ*  
*N.A. KULIDA, N.A. DEMIDOV*

**(Ивановская государственная текстильная академия)**  
**(Ivanovo State Textile Academy)**  
E-mail: info@igta.ru

*Выполнена оценка погрешности косвенного измерения давления в слое намотки сновального вала на основе измерений кинематических параметров наматывания. Установлены факторы, оказывающие преобладающее влияние на измеряемый параметр.*

*The estimation of an error of indirect measurement of pressure in a twisting layer of the warper's shaft on the basis of the measurements of winding kinematic parameters is made. The factors, making prevailing impact on the measured parameter, are determined.*

**Ключевые слова:** сновальный вал, напряженно-деформированное состояние, косвенное измерение, погрешность.

**Keywords:** a warper's shaft, an intense-deformed state, indirect measurement, an error.

Имеется ряд примеров экспериментального и теоретического определения основных параметров формируемых на различных машинах тел намотки – плотности, давления в слое, остаточных натяжений в витках нитей и ряда других; при этом экспери-

ментальные измерения указанных параметров осуществлялись с помощью специальных датчиков, которые при формировании паковок зарывались в тело намотки. Экспериментальные методы применялись только при изучении процесса наматывания

и по различным причинам не могут быть рекомендованы для промышленного применения. Метод определения напряженно-деформированного состояния (НДС) формируемой сновальной паковки на основе кинематических параметров процесса [1] и с учетом линейной плотности пряжи, количества нитей в ставке, времени наматывания слоя, физико-механических параметров пряжи и формируемого тела намотки, в частности, параметров, характеризующих релаксационные свойства пряжи, коэффициентов, определяющих податливость слоя и тела намотки, и других, представляет собой, по сути, косвенный метод измерения параметров НДС. Общее число перечисленных параметров зависит от сложности используемых математических моделей и точности решаемой задачи. Погрешности прямых измерений перечисленных параметров и их изменение в процессе наматывания влияют на точность решения поставленной задачи, а следовательно, и эффективность управления процессом. В связи с этим закономерно встает вопрос о доверительных границах косвенно измеряемых параметров НДС сновальной паковки и влиянии на них изменения кинематических параметров и констант, используемых при вычислениях.

Рассмотрим решение задачи определения погрешности косвенного измерения давления в слое  $q$  в  $i$ -м слое тела намотки с использованием известного дифференциального уравнения равновесия бесконечно малого элемента тела намотки, приведенного к линейному неоднородному уравнению Эйлера, которое имеет аналитическое решение, приведенное в [1].

В соответствии с [2] погрешность косвенного измерения при нелинейной зависимости измеряемого параметра от аргументов определяется путем разложения нелинейной функции в ряд Тейлора, при этом возможность использования ряда для оценивания погрешности определяется

путем сравнения остаточного члена разложения с выражением

$$0,8 \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial a_i} \right)^2} S^2(\tilde{a}_i),$$

где  $S^2(\tilde{a}_i)$  – среднее квадратическое отклонение случайных погрешностей результата измерения  $a_i$ -го аргумента. Однако, учитывая, что текущий радиус намотки, длина нитей, угол поворота сновального вала определяются в процессе намотки, то есть измерения указанных величин производятся однократно, а в стандарте этот случай не рассматривается, для оценки погрешности измерения давления в слое используем методику из монографии [3].

В соответствии с указанной методикой обработки, в которой косвенные измерения при однократных прямых измерениях аргументов названы обыкновенными, вначале оценивается возможность использования линеаризованной нелинейной зависимости путем сравнения остаточного члена разложения с линейным. Для этого первоначально выберем количество аргументов нелинейной функции. Основываясь на известных теоретических и экспериментальных работах по исследованию напряженного состояния тел намотки [1], [4], [5], выберем факторы, оказывающие на давление в слое в рассматриваемом технологическом процессе превалирующее влияние: релаксационный модуль упругости ( $E_M$ ) и намоточное напряжение ( $\sigma_H$ ). Из перечисленных кинематических параметров используем радиус намотки  $r$ , который может контролироваться с помощью инкрементальных энкодеров, установленных на сновальном и укатывающем валу [6]. Ряд Тейлора для давления  $q$  как функции трех переменных имеет вид:

$$q(r + \Delta r, E_M + \Delta E_M, \sigma_H + \Delta \sigma_H) = q(r, E_M, \sigma_H) + \frac{1}{1!} \left[ \frac{\partial q(r, E_M, \sigma_H)}{\partial r} \Delta r + \frac{\partial q(r, E_M, \sigma_H)}{\partial E_M} \Delta E_M + \frac{\partial q(r, E_M, \sigma_H)}{\partial \sigma_H} \Delta \sigma_H \right] + R_2, \quad (1)$$

где  $R_2$  – остаточный член разложения, равный:

$$R_2 = \frac{1}{2!} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \Delta r + \frac{\partial}{\partial E_M} \Delta E_M + \frac{\partial}{\partial \sigma_M} \Delta \sigma_M \right]^2 q(r + v_1 \Delta r, E_M + v_2 \Delta E_M, \sigma_M + v_3 \Delta \sigma_M), \quad (2)$$

где  $0 < v_{1,3} < 1$ .

Для сравнения  $R_2$  с линейным членом разложения необходимо оценить погрешности измерения аргументов или интервалы возможного их варьирования при изменении условий снования.

Погрешность измерения радиуса намотки по соотношению углов поворота сновального и укатывающего валов определена ранее [6] как погрешность косвенного измерения, имеющая максимальное значение в начале намотки.

К рассмотренной погрешности косвенного измерения радиуса намотки следует присоединить изменения радиуса  $r$ , вы-

званные вариативностью линейной плотности пряжи. Известно, что условный диаметр пряжи  $d_H$ , мм, линейной плотности  $T$ , текс, связан соотношением [7]:

$$d_H = 2\sqrt{T/(\pi\rho)},$$

где  $\rho$  – плотность вещества волокон, кг/м<sup>3</sup>.

Изменения условного диаметра пряжи, вызванные отклонениями ее линейной плотности, в первом приближении можно определить из выражения

$$\Delta_{d_H} = \frac{\partial d_H(T)}{\partial T} \Delta T = 0,01 \delta_T \sqrt{T/(\pi\rho)}.$$

Относительное изменение условного диаметра

$$\delta_{d_H} = \Delta_{d_H} \cdot 100/d_H = \delta_T/2. \quad (3)$$

В свою очередь радиус намотки определяется количеством слоев  $m$  и размером поперечного сечения пряжи в направлении радиуса намотки, который зависит от условного диаметра пряжи. Принимая  $r = r_0 + k_c d_H m$ , где  $r_0$  – радиус ствола сновального вала, мм;  $k_c$  – коэффициент, учи-

тывающий деформирование пряжи в поперечном направлении и рассеяние витков при намотке, находим  $r = r_0 + k_c d_H m = r_0 + 2k_c m \sqrt{T/(\pi\rho)}$ . Изменение радиуса намотки аналогично предыдущему определяем из выражения:

$$\Delta_r = \frac{\partial r(T)}{\partial T} \Delta T = 0,01 k_c m \delta_T \sqrt{T/(\pi\rho)}.$$

Отсюда относительное изменение радиуса:

$$\delta_r = \frac{k_c \delta_T m \sqrt{T/(\pi\rho)}}{r_0 + 2k_c m \sqrt{T/(\pi\rho)}}, \quad (4)$$

которое достигает максимального значе-

ния, приблизительно равного  $\delta_T/2$  в конце намотки, поскольку

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{k_c \delta_T m \sqrt{T/(\pi\rho)}}{r_0 + 2k_c m \sqrt{T/(\pi\rho)}} = \frac{\delta_T}{2}.$$

Таким образом, при оценке максимального значения изменения радиуса намотки

из-за вариативности линейной плотности пряжи в первом приближении можно считать равным половине относительного изменения линейной плотности перематываемой пряжи или относительному изменению ее условного диаметра.

Компонента погрешности, обусловленная изменением релаксационного модуля упругости наматываемых нитей и погрешностью его прямых измерений, может быть исследована на основе экспериментальных данных. Основными причинами изменения модуля упругости при наматывании основных нитей считается изменение их натяжения, скорости деформации и температурно-влажностных условий. Оценим влияние натяжения на релаксационный модуль упругости.

Известно [8], что натяжение нитей при сновании подвержено влиянию многих факторов, в числе главных из которых принято считать скорость и линейную плотность пряжи, а также форму и геометрические размеры питающей паковки. Если линейная скорость задана техническим регламентом процесса и при сновании не

должна изменяться, то размеры питающей паковки обуславливают изменение натяжения, закономерность которого зависит от линейной плотности пряжи и ее состава. Например, при сновании хлопчатобумажной пряжи 25 текс на скорости 400 м/мин изменение среднего значения натяжения в вершине конической бобины достигает 61% [8], при этом натяжение к концу срабатывания бобины увеличивается.

Экспериментальных данных о влиянии натяжения на релаксационный модуль упругости хлопчатобумажной пряжи в литературе нами не обнаружено. В первом приближении используем зависимость модуля жесткости хлопчатобумажной пряжи 25 текс от натяжения, приведенную в статье [9]:  $E = 10^6 A_1 F_H^n \rho / T$ , где  $A_1$  и  $n$  – постоянные коэффициенты, полученные при обработке экспериментальных данных;  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, и  $T$ , текс, – параметры, определенные ранее. Изменение модуля упругости находится аналогично рассмотренному выше:

$$\Delta E = \frac{\partial E(F_H)}{\partial F_H} \Delta F_H = 10^6 T^{-1} A_1 n F_H^{n-1} \rho \Delta F_H = 10^4 T^{-1} A_1 n F_H^n \rho \delta_F,$$

где  $\delta_F = \frac{\Delta F_H \cdot 100}{F_H}$ . Отсюда относительное изменение модуля упругости:

$$\delta_E = \frac{\Delta E \cdot 100}{E} = n \delta_F, \quad (5)$$

где показатель степени  $n$  для хлопчатобумажной пряжи 25 текс, равный 0,5 [9].

Изменение натяжения при сновании, как отмечено выше, зависит от скорости и линейной плотности нитей. Поскольку в процессе снования натяжение нитей не контролируется, то логично рассматривать изменение натяжения при срабатывании паковки при неизменной скорости снования относительно некоторого выбранного среднего значения как предельное изменение намоточного натяжения.

Для вычисления остаточного члена разложения (2) найдем производные для функции  $q = C_{1,i} r_i^{z1} + C_{2,i} r_i^{z2} + \Phi$  [1], где постоянные интегрирования  $C_{1,i}$  и  $C_{2,i}$  находятся из граничных условий для  $i$ -го слоя намотки. При нахождении производных учтем, что постоянные интегрирования являются для рассматриваемого слоя константами, однако при их вычислении в косвенном измерении используются все три параметра ( $r$ ,  $E_m$ ,  $\sigma_n$ ), погрешность измерения и вариативность которых обуславливают погрешность косвенного измерения давления. Учитывая, что константа  $\Phi$  не зависит от  $r$ , получим:

$$\frac{\partial q}{\partial r_i} = C_{1,i} z_1 r_i^{z_1-1} + C_{2,i} z_2 r_i^{z_2-1} + r_i^{z_1} \frac{\partial C_{1,i}}{\partial r_i} + r_i^{z_2} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial r_i}, \quad (6)$$

где

$$\frac{\partial C_{1,i}}{\partial r_i} = DL^{-1} z_2 r_i^{z_2-1} - L^{-2} \left\{ Dr_i^{z_2} + A_2 r_0^{z_2} [\Phi - q(r_i)] \right\} \left( z_2 r_0^{z_1} r_i^{z_2-1} A_1 - z_1 r_i^{z_1-1} r_0^{z_2} A_2 \right);$$

$$\frac{\partial C_{2,i}}{\partial r_i} = -(z_1 - z_2) C_{1,i} r_i^{z_1-z_2-1} - [q(r_i) - \Phi] z_2 r_i^{-(z_2+1)} - r_i^{z_1-z_2} \frac{\partial C_{1,i}}{\partial r_i};$$

$$L = r_0^{z_1} r_i^{z_2} A_1 - r_i^{z_1} r_0^{z_2} A_2$$

а для констант  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $D$ ,  $\Phi$  и корней характеристического уравнения  $z_1$  и  $z_2$  используются выражения из [1].

Производная по релаксационному модулю упругости  $E_M$ :

$$\frac{\partial q}{\partial E_M} = \frac{\partial q}{\partial C_{1,i}} \cdot \frac{\partial C_{1,i}}{\partial E_M} + \frac{\partial q}{\partial C_{2,i}} \cdot \frac{\partial C_{2,i}}{\partial E_M} + \frac{\partial q}{\partial z_1} \cdot \frac{\partial z_1}{\partial E_M} + \frac{\partial q}{\partial z_2} \cdot \frac{\partial z_2}{\partial E_M} + \frac{\partial \Phi}{\partial E_M}, \quad (7)$$

где, в свою очередь:

$$\frac{\partial C_{1,i}}{\partial E_M} = \frac{\partial C_{1,i}}{\partial D} \cdot \frac{\partial D}{\partial E_M} + \frac{\partial C_{1,i}}{\partial A_1} \cdot \frac{\partial A_1}{\partial E_M} + \frac{\partial C_{1,i}}{\partial A_2} \cdot \frac{\partial A_2}{\partial E_M} + \frac{\partial C_{1,i}}{\partial \Phi} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial E_M} + \frac{\partial C_{1,i}}{\partial z_1} \cdot \frac{\partial z_1}{\partial E_M} + \frac{\partial C_{1,i}}{\partial z_2} \cdot \frac{\partial z_2}{\partial E_M} \quad (8)$$

и

$$\frac{\partial C_{2,i}}{\partial E_M} = \frac{\partial C_{2,i}}{\partial C_{1,i}} \cdot \frac{\partial C_{1,i}}{\partial E_M} + \frac{\partial C_{2,i}}{\partial \Phi} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial E_M} + \frac{\partial C_{2,i}}{\partial z_1} \cdot \frac{\partial z_1}{\partial E_M} + \frac{\partial C_{2,i}}{\partial z_2} \cdot \frac{\partial z_2}{\partial E_M}, \quad (9)$$

$$а \quad \frac{\partial q}{\partial C_{1,i}} = r_i^{z_1} + r_i^{z_2} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial C_{1,i}}, \quad \frac{\partial q}{\partial C_{2,i}} = r_i^{z_2}, \quad \frac{\partial q}{\partial z_1} = r_i^{z_1} \frac{\partial C_{1,i}}{\partial z_1} + C_{1,i} r_i^{z_1} \ln r_i + r_i^{z_2} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial z_1},$$

$$\frac{\partial q}{\partial z_2} = r_i^{z_2} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial z_2} + C_{2,i} r_i^{z_2} \ln r_i, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial E_M} = -\frac{\sigma_H \lambda_c \chi}{(\lambda_c \chi E_M + f - 1)^2}, \quad \frac{\partial C_{1,i}}{\partial D} = \frac{r_i^{z_2}}{L},$$

$$\frac{\partial D}{\partial E_M} = \frac{\chi(f-1)(\lambda_c r_0 - \lambda_H)}{r_0(\lambda_c E_M \chi + f - 1)^2}, \quad \frac{\partial C_{1,i}}{\partial A_1} = -\frac{\left\{ Dr_i^{z_2} + A_2 r_0^{z_2} [\Phi - q(r_i)] \right\} r_0^{z_1} r_i^{z_2}}{L^2}, \quad \frac{\partial A_1}{\partial E_M} = \frac{\partial A_2}{\partial E_M} = \frac{\lambda_H \chi}{r_0},$$

$$\frac{\partial C_{1,i}}{\partial A_2} = \frac{A_1 [\Phi - q(r_i)] r_0^{z_1+z_2} + Dr_i^{z_1+z_2} r_0^{z_2}}{L^2}, \quad \frac{\partial C_{1,i}}{\partial \Phi} = \frac{A_2 r_0^{z_2}}{L}, \quad \frac{\partial \Phi}{\partial E_M} = -\frac{\sigma_H \lambda_c \chi}{(\lambda_c E_M \chi + f - 1)^2},$$

$$\frac{\partial C_{2,i}}{\partial C_{1,i}} = -r_i^{z_1-z_2}, \quad \frac{\partial z_1}{\partial E_M} = 0,5 \lambda_c \chi (\lambda_c \chi E_M)^{-0,5}, \quad \frac{\partial z_2}{\partial E_M} = -0,5 \lambda_c \chi (\lambda_c \chi E_M)^{-0,5}, \quad \frac{\partial C_{2,i}}{\partial \Phi} = -r_i^{-z_2}.$$

В полученных выражениях  $\lambda_c$ ,  $\chi$  – соответственно коэффициент податливости и коэффициент заполнения слоя;  $f$  – коэффициент трения между слоями [1].

Производная по намоточному напряжению  $\sigma_H$  равна:

$$\frac{\partial q}{\partial \sigma_H} = \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_H} = \frac{\partial}{\partial \sigma_H} \left( \frac{\sigma_H}{\lambda_c \chi E_M + f - 1} \right) = \frac{1}{(\lambda_c \chi E_M + f - 1)}, \quad (10)$$

Для вычисления остаточного члена  $R_2$  функции  $q(r_i, E_M, \sigma_H)$ : необходимо найти вторые производные для

$$R_2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial^2 q}{\partial r_i^2} (\Delta r_i)^2 + \frac{\partial^2 q}{\partial E_M^2} (\Delta E_M)^2 + \frac{\partial^2 q}{\partial \sigma_H^2} (\Delta \sigma_H)^2 + 2 \frac{\partial^2 q}{\partial E_M \partial r_i} \Delta r_i \Delta E_M + 2 \frac{\partial^2 q}{\partial \sigma_H \partial E_M} \Delta \sigma_H \Delta E_M + 2 \frac{\partial^2 q}{\partial \sigma_H \partial r_i} \Delta \sigma_H \Delta r_i \right]. \quad (11)$$

В соответствии с (6):

$$\frac{\partial^2 q}{\partial r_i^2} = C_{1,i} r_i^{z_1 - 2} (z_1^2 - z_1) + C_{2,i} r_i^{z_2 - 2} (z_2^2 - z_2) + 2 z_1 r_i^{z_1 - 1} \frac{\partial C_{1,i}}{\partial r} + 2 z_2 r_i^{z_2 - 1} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial r} + r_i^{z_1} \frac{\partial^2 C_{1,i}}{\partial r^2} + r_i^{z_2} \frac{\partial^2 C_{2,i}}{\partial r^2}. \quad (12)$$

Используя выражение (7), находим:

$$\frac{\partial^2 q}{\partial E_M^2} = \frac{\partial^2 q}{\partial C_{1,i}^2} \frac{\partial^2 C_{1,i}}{\partial E_M^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial C_{2,i}^2} \frac{\partial^2 C_{2,i}}{\partial E_M^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial z_1^2} \frac{\partial^2 z_1}{\partial E_M^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial z_2^2} \frac{\partial^2 z_2}{\partial E_M^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial E_M^2}, \quad (13)$$

где  $\frac{\partial^2 q}{\partial C_{1,i}^2} = \frac{\partial^2 q}{\partial C_{2,i}^2} = 0$ ;  $\frac{\partial^2 q}{\partial z_1^2} = C_{1,i} r^{z_1} \ln r_i^2$ ;  $\frac{\partial^2 z_1}{\partial E_M^2} = -\frac{0,25 \lambda_c^2 \chi^2}{(\lambda_c \chi E_M)^{3/2}}$ ;  $\frac{\partial^2 q}{\partial z_2^2} = C_{2,i} r^{z_2} \ln r_i^2$ ;

$$\frac{\partial^2 z_2}{\partial E_M^2} = \frac{0,25 \lambda_c^2 \chi^2}{(\lambda_c \chi E_M)^{3/2}}; \quad \frac{\partial^2 \Phi}{\partial E_M^2} = \frac{\sigma_H \lambda_c^2 \chi^2}{(\lambda_c E_M \chi + f - 1)^3}.$$

Последняя из несмешанных производных  $\frac{\partial^2 q}{\partial \sigma_H^2} = 0$ . Аналогично находим сме-

шанные производные. Если обозначить  $dq/dr_i = q'_r$ , то смешанная производная:

$$\frac{\partial^2 q}{\partial E_M \partial r_i} = \frac{\partial q'_r}{\partial E_M} = \frac{\partial q'_r}{\partial C_{1,i}} \frac{\partial C_{1,i}}{\partial E_M} + \frac{\partial q'_r}{\partial z_1} \frac{\partial z_1}{\partial E_M} + \frac{\partial q'_r}{\partial C_{2,i}} \frac{\partial C_{2,i}}{\partial E_M} + \frac{\partial q'_r}{\partial z_2} \frac{\partial z_2}{\partial E_M},$$

где  $\frac{\partial q'_r}{\partial C_{1,i}} = z_1 r_i^{z_1 - 1}$ ;  $\frac{\partial q'_r}{\partial z_1} = C_{1,i} r_i^{z_1 - 1} (1 + z_1 \ln r_i) + r_i^{z_1} \ln(r_i) \frac{\partial C_{1,i}}{\partial r_i}$ ;

$$\frac{\partial q'_r}{\partial C_{2,i}} = z_2 r_i^{z_2 - 1}$$
;  $\frac{\partial q'_r}{\partial z_2} = C_{2,i} r_i^{z_2 - 1} (1 + z_2 \ln r_i) + r_i^{z_2} \ln(r_i) \frac{\partial C_{2,i}}{\partial r_i}$ , а

производные  $\frac{\partial C_{1,i}}{\partial E_M}$  и  $\frac{\partial C_{2,i}}{\partial E_M}$  вычисляются

в соответствии с (8) и (9). Две последних смешанных производных из (11) равны соответственно:

$$\frac{\partial^2 q}{\partial \sigma_H \partial E_M} = -\frac{\lambda_c \chi}{(\lambda_c E_M \chi + f - 1)^2} \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 q}{\partial \sigma_H \partial r_i} = 0.$$

Остаточный член  $R_2$ , вычисленный в соответствии с выражением (11), сравни-

ваем с линейным членом разложения (1). При вычислениях используем численные значения кинематических и других параметров из [1], а значения погрешностей прямых измерений аргументов принимаем не превышающими 3,5%, при этом, по-

$$R_2 < \frac{\partial q(r, E_M, \sigma_H)}{\partial r} \Delta r + \frac{\partial q(r, E_M, \sigma_H)}{\partial E_M} \Delta E_M + \frac{\partial q(r, E_M, \sigma_H)}{\partial \sigma_M} \Delta \sigma_M,$$

поэтому линеаризация возможна.

Частные производные линейного члена разложения функции  $q(r, E_M, \sigma_H)$  в ряд называются коэффициентами влияния [3]. Числовые значения этих коэффициентов зависят от параметров наматываемой пряжи и формируемой в результате намотки паковки. Превалирующее влияние на погрешность оказывает релаксационный модуль упругости, причем его влияние настолько больше, по сравнению с радиусом намотки и намоточным напряжением, что влиянием последних можно пренебречь. Например, ко-

скольку влияние погрешности измерения радиуса намотки и его вариативности рассматриваются совместно, выполняем суммирование этих двух случайных величин в соответствии с правилами [10]. В результате сравнения устанавливаем, что

эффицент влияния по релаксационному модулю упругости на три порядка превышает коэффициент по намоточному напряжению, а в сравнении с коэффициентом влияния радиуса намотки превышение еще больше.

В табл. 1 приведены значения коэффициента влияния и относительной погрешности косвенного измерения давления в слое, вычисленные при доверительной вероятности 0,95 в соответствии с рекомендациями из [3].

Таблица 1

Коэффициент заполнения слоя $\chi$	Коэффициент влияния $\left  \frac{\partial q(r, E_M, \sigma_H)}{\partial E_M} \right $	Относительная погрешность, %
0,224	1,019	7,6
0,306	0,503	3,8
0,340	0,347	2,6

Из табл.1 следует, что с уменьшением коэффициента заполнения слоя погрешность измерения давления возрастает. Для достижения принятой в расчетах погрешности релаксационного модуля упругости требуется его непрерывный контроль в процессе наматывания. В противном случае в соответствии с (5) его относительное изменение достигает половины изменения натяжения и составляет 30,5%, что обуславливает погрешность вычисления давления 66,4% при коэффициенте заполнения 0,224.

Влияние коэффициента заполнения слоя на величину погрешности свидетельствует о необходимости включения в алгоритм расчета послойного определения плотности

намотки и коэффициента заполнения слоя. Значительные колебания натяжения в партионном сновании вызывают изменения модуля упругости наматываемой на паковку пряжи и, как следствие, изменение параметров НДС сновального вала. Выполненные численные расчеты позволяют оценить чувствительность давления в слое и к другим изменяющимся параметрам процесса снования.

## В Ы В О Д Ы

1. На величину погрешности в выбранной модели НДС партионной сновальной паковки превалирующее влияние оказывает релаксационный модуль упругости пряжи.
2. Снижение погрешности косвенного

измерения давления в слое намотки сновального вала возможно при включении в алгоритм вычисления давления расчетных соотношений для плотности намотки и коэффициента заполнения слоя, а также при использовании дополнительных информационных каналов, уточняющих значение модуля упругости наматываемой пряжи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев В.А., Вайнер И.И., Ерошкин Ю.В. Расчет паковок рулонного типа на основе кинематических параметров наматывания // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1988, № 1. С. 29...32.
2. МИ 2083-90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.
3. Рабинович С.Г. Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978.
4. Сухарев В.А., Матюшев И.И. Расчет тел намотки. – М.: Машиностроение, 1982.
5. Степанов В.А. Экспериментальное опреде-

ление радиальных давлений и перемещений в цилиндрических текстильных паковках // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1976, № 6. С. 130...132.

6. Кулида Н.А., Линькова Л.В., Кулида А.Н. Косвенные измерения параметров намотки пряжи на партионной сновальной машине // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 6. С. 103...107.

7. Справочник по хлопкоткачеству / Э.А. Оников, П.Т. Букаев, А.П. Алленова и др.; под. общ. ред. Э.А. Оникова. – М.: Легкая индустрия, 1979.

8. Ефремов Е.Д., Кислякова А.М., Попова Г.К. Технологический процесс снования пряжи в текстильном производстве. – Ярославль, 1977.

9. Налетов В.В. Зависимость между деформацией и усилием в текстильных материалах в условиях кратковременных нагрузжений // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1975, № 4. С. 20...24.

Рекомендована кафедрой автоматизации и радиоэлектроники. Поступила 31.01.11.